



Estimativa da Evaporação em Albufeiras do Sul de Portugal pelo Modelo FLAKE

Reservoir evaporation estimates in the south of Portugal by the FLAKE Model

Carlos M. Rodrigues⁽¹⁾, Rui R. Rodrigues⁽²⁾ e Rui Salgado⁽³⁾

⁽¹⁾ Departamento de Engenharia Rural, Universidade de Évora, Largo dos Colegiais, 2, 7000 Évora, camr@uevora.pt

⁽²⁾ Departamento de Monitorização e Sistemas de Informação do Domínio Hídrico, Instituto da Água, I.P., Av. Almirante Gago Coutinho, 30, 1049-066 Lisboa, rrr@inag.pt

⁽³⁾ Centro de Geofísica de Évora, Universidade de Évora, Largo dos Colegiais, 2, 7000 Évora, rsal@uevora.pt

SUMMARY

The aim of this work is to be able to simulate the evaporation from reservoirs in southern Portugal (a drought prone area) by applying the FLAKE lake model. The model was forced with over-lake atmospheric measurements from the Water Institute monitoring network over the period from 2002 to 2006. Simulation results were compared against observational water temperature profiles and a statistic analysis was used to set optimal model parameters for each reservoir studied. Comparison shows that the model is able to simulate the annual cycle of water temperatures, and to predict realistic patterns of evaporation rates.

1. INTRODUÇÃO

A quantificação dos volumes de água mobilizados pela evaporação, em lagos e albufeiras, é essencial para a definição dos montantes armazenados e consequente previsão, em termos de exploração, do recurso água. Tal quantificação assume importância significativa no sul de Portugal, onde a depleção, verificada durante a estação seca nas albufeiras é, em parte, fruto das perdas por evaporação.

A eficiência na gestão dos aproveitamentos, no sul maioritariamente hidroagrícolas, mas de forma crescente mobilizados para outros fins, onde sobressai o abastecimento público e a exploração lúdica dos espelhos de água, depende do conhecimento rigoroso das reservas disponíveis em cada momento, pelo que, a quantificação correcta das afluências e efluências às albufeiras é condição determinante.

As efluências por evaporação são as mais difíceis de quantificar por medição directa sendo corrente o estabelecimento de estimativas da evaporação com base nas perdas de água a partir das tina evaporimétricas depois de definidos os respectivos coeficientes de conversão, ou recorrendo à utilização de relações empíricas baseadas em parâmetros climatológicos de quantificação corrente (temperatura, radiação solar, vento, etc.) medidos em enquadramentos terrestres. Estes métodos, no entanto, por conduzirem a taxas de evaporação praticamente em fase com a radiação solar, não conseguem reproduzir a inércia térmica própria dos lagos, ou seja, a energia mobilizada para a evaporação pela variação do calor armazenado na massa de água.

O recurso a modelos de lago que tenham em conta as principais características turbulentas da massa de água condicionadas pelo forçamento atmosférico local, nomeadamente as condições meteorológicas acima da superfície livre, parecem ser mais adequados na definição dos fluxos de superfície o que possibilita estimativas mais realista da evaporação.

2. MODELO DE LAGO

O modelo de lago FLake (Mironov, 2006) é um modelo unidimensional baseado na ideia de que o perfil térmico no interior do lago é composto por 2 camadas: a camada superficial de mistura, onde a temperatura é constante e a termoclina, uma camada estratificada, onde o perfil apresenta uma forma pré assumida que evolui no tempo (hipótese de auto-semelhança). Assim, o perfil térmico, em qualquer instante e para um lago com uma dada profundidade, fica definido por 4 variáveis: a temperatura de superfície, a temperatura do fundo, a profundidade da camada de mistura e o factor de forma da termoclina. O mesmo conceito é utilizado para descrever a evolução da camada sedimentar termicamente activa. O FLake contém ainda módulos para representação de camadas superficiais de gelo e de neve, mas

que não são activados para as condições climáticas do sul de Portugal.

A evolução do perfil de temperatura da coluna de água é calculada a partir da resolução de um sistema de 4 equações, duas das quais são equações de balanço de energia para a camada de mistura e para toda a coluna de água. Para as resolver é necessário impor valores iniciais e conhecer os fluxos de radiação solar e atmosférica à superfície, bem como os valores da pressão, do vento e da temperatura e humidade do ar junto à superfície. O modelo está descrito detalhadamente em Mironov (2006). As variáveis de evolução respeitantes à coluna de água e os parâmetros mais relevantes do modelo encontram-se indicadas na tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis de evolução e parâmetros do modelo FLake. (Variabls and parameters of FLake Model)

Variáveis	Unidade
Temperatura da Superfície	Ts (K)
Temperatura do fundo	Tb (K)
Factor de forma	Ct (-)
Profundidade da camada de mistura	h (m)
Parâmetros mais relevantes (constantes durante cada simulação)	
Profundidade do lago	D (m)
Albedo da água	α (-)
Coefficiente de extinção da radiação solar na água	γ (m ⁻¹)
Temperatura da base da camada de sedimentos	T _{bs} (K)
Profundidade da camada de sedimentos	h _{bs} (m)
termicamente activa	

Ao resolver as equações de balanço de energia à superfície o modelo calcula o fluxo superficial de vapor de água. A evaporação é assim uma das variáveis de saída do modelo, podendo ser utilizada na obtenção de estimativas para esta grandeza difícil de observar quantitativamente.

3. METODOLOGIA

O modelo foi aplicado em nove albufeiras de média a grande capacidade de regularização do Alentejo e Algarve (Tabela 2) tendo por forçamento atmosférico os dados horários de pressão, temperatura, humidade, velocidade do vento e radiação solar descendente, no período 2002/2006, disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (*online* em: <http://snirh.pt/>) e obtidos na rede meteorológica flutuante do Instituto da Água (INAG). Na ausência de medições da radiação infravermelha descendente, recorreu-se aos dados das análises do modelo do ECMWF (European Center of Medium Weather Forecast) relativa aos pontos de malha mais próximos das observações, interpolados para os valores horários.



Os perfis térmicos simulados pelo modelo foram confrontados com os registos horários de temperatura observados às profundidades de 1, 5, 10, 15 e 20 metros em cada uma das nove albufeiras. Tendo em conta a sensibilidade do modelo à profundidade do lago e ao coeficiente de extinção da radiação na coluna de água, efectuaram-se, em média, dez corridas para cada uma das albufeiras fazendo variar estes parâmetros dentro dos condicionalismos físicos de cada lago.

Tabela 2 – Albufeiras (List of reservoirs)

Albufeira	Coordenadas Lat. (°N)/Long.(°W)	Características Capac.(hm³) / Área(km²)
Alqueva	38,20 / - 7,50	4150,0 / 250,00
Alvito	38,28 / - 7,91	132,5 / 14,80
Bravura	37,02 / - 8,70	34,8 / 2,85
Caia	39,01 / - 7,15	203,0 / 19,70
Maranhão	39,10 / - 7,97	205,4 / 19,60
Odeleite	37,33 / - 7,49	130,0 / 7,20
Pego Altar	38,42 / - 8,39	94,0 / 6,55
Roxo	37,93 / - 8,08	96,3 / 13,70
Sta Clara	37,52 / - 8,44	485,0 / 19,86

Os valores da evaporação estimada resultaram da corrida do modelo cuja combinação dos parâmetros conduziu ao melhor ajuste estatístico entre os valores observados e simulados, relativamente aos valores médios diários da temperatura da água. Foram considerados como descritores estatísticos, o erro médio (VIÉS), o erro quadrático médio (EQM) e o índice de ajustamento (IoA) proposto por Willmott (1981)

$$IoA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|S_i - S_{med.}| + |O_i - O_{med.}|)^2}$$

(1) onde, S e O correspondem, respectivamente, aos valores diários simulados e observados. O índice $med.$ corresponde à média dos N valores de temperatura média diária da água.

4. RESULTADOS

Na figura 1 apresenta-se, a título de exemplo, a evolução dos valores da temperatura média diária a 1 m de profundidade, observados e simulados, nas albufeiras de Bravura e Alqueva. Da análise da figura resulta claro o modo como o modelo é capaz de reproduzir a variabilidade sazonal nas temperaturas superficiais da água, embora se verifique alguma tendência para subestimar a temperatura, principalmente, no período de verão.

Também ao longo da coluna de água, como se comprova na estatística resultante da calibração nas albufeiras em análise e resumida na tabela 3, se pode concluir que o modelo tende a subestimar a temperatura da água. Todavia, a parametrização do EQM expressa pelo IoA apresenta valores significativamente elevados traduzindo uma boa concordância entre os valores observados e simulados.

Tabela 3 – Viés, EQM e IoA médios das séries temporais de temperaturas da água quando confrontadas com as observações (Bias, RMS and IoA on average for time series of simulated water temperature vs. measurements)

Albufeira	Viés	EQM	IoA
Alqueva	-0,36	2,08	0,91
Alvito	-1,91	2,74	0,94
Bravura	-2,12	3,29	0,91
Caia	-1,03	2,21	0,95
Maranhão	-0,52	2,51	0,95
Odeleite	-0,89	2,64	0,94
Pego do Altar	-0,10	2,28	0,98
Roxo	-0,96	2,93	0,92
Sta Clara	-1,29	2,56	0,94

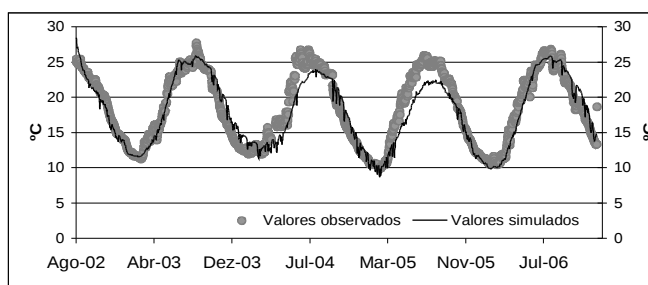
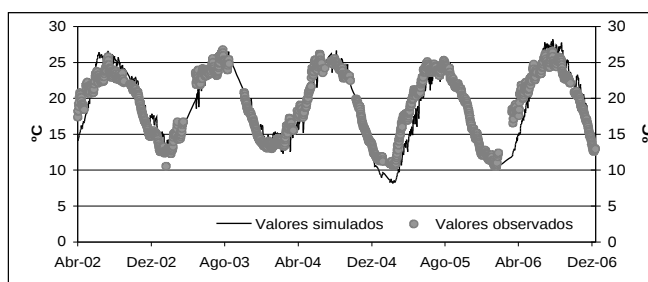


Figura 1 - Evolução da temperatura média observada e simulada à profundidade de 1 metro. Topo: albufeira da Bravura Fundo: albufeira de Alqueva (Evolution of daily water temperature, 1 meter deep, for Bravura and Alqueva reservoirs)

A evaporação média anual simulada e a sua evolução cronológica para cada albufeira, encontra-se expressa na figura 2.

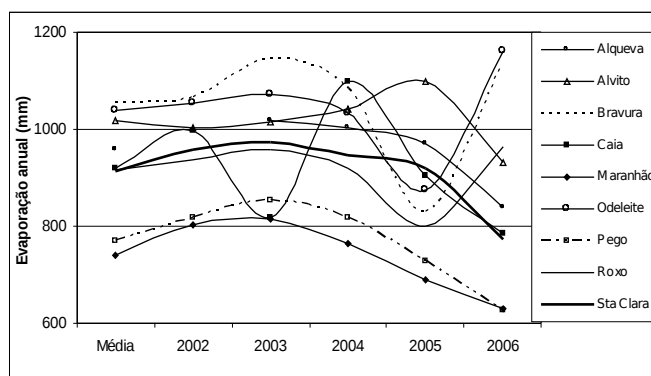


Figura 2 - Evolução da evaporação anual. (Evolution of annual evaporation.)

A análise da figura 2 aponta para um aumento da evaporação anual no sentido norte-sul com as albufeiras da região do Algarve (Bravura e Odeleite) a evidenciarem valores de evaporação média superiores a 1000 mm/ano por oposição aos 800 mm/ano estimados para Pego do Altar e Maranhão.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INAG a disponibilização dos perfis de temperatura das albufeiras e dos registos das variáveis meteorológicas utilizadas neste trabalho.

5. REFERÊNCIAS

- Mironov, D. V. (2006): "Parametrization of lakes in numerical weather prediction. Part I: Description of a lake model". German Weather Service. Available from the author, dimitrii.mironov@dwd.de 41 pp.
- Willmott, C. J. (1981): "On the validation of models". *Physical Geography*, 2, 184-194.